

MINÉIA JOHANN SCHERER E BEATRIZ MARIA FEDRIZZI

## Desempenho das cortinas verdes no controle solar de edificações: um estudo experimental

*Performance of green curtains in solar control of buildings:  
an experimental study*

**Minéia Johann Scherer**

Possui graduação em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal de Santa Maria (2002); mestrado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Maria (2005); doutorado em Arquitetura pelo Programa de Pesquisa e Pós-graduação em Arquitetura (PROPAR) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. É professora adjunta do Curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Maria, Campus Cachoeira do Sul (UFSM-CS).

*Graduated in Architecture and Urbanism from Federal University of Santa Maria (2002); Master's Degree in Civil Engineering from Federal University of Santa Maria (2005); PhD in Architecture from the postgraduate's research program in Architecture (PROPAR) of the Federal University of Rio Grande do Sul - UFRGS. She is an adjunct professor of Architecture and Urban Planning Course at the Federal University of Santa Maria, Campus Cachoeira do Sul (UFSM-CS).*

**mineiaarq@gmail.com**

**Beatriz Maria Fedrizzi**

Doutora em Paisagismo. Professora do Programa de Pós-graduação em Arquitetura (PROPAR), da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

*Holds a PhD in Landscape studies and is currently a professor at the Postgraduate Program in Architecture (PROPAR), at the Federal University of Rio Grande do Sul (UFRGS).*

**beatrizfedrizzi@gmail.com**

### Resumo

As cortinas verdes caracterizam-se pelo plantio e desenvolvimento de espécies de vegetação trepadeira, com auxílio de suportes, posicionadas em frente e afastadas das superfícies verticais da edificação. Seu aspecto funcional mais relevante está associado à capacidade de proporcionar sombra, dependendo da densidade de sua folhagem, o que pode repercutir de forma positiva na eficiência energética da edificação. Nesse contexto, o objetivo deste artigo consiste em verificar a capacidade de sombreamento de quatro espécies trepadeiras adaptadas ao clima subtropical brasileiro, observando o Percentual de Transmissão Solar (PTS) de sua folhagem ao longo das diferentes estações do ano. O método utilizado caracteriza-se como experimental, uma vez que tem como base a construção de um protótipo de campo, no qual as espécies de vegetação foram plantadas e avaliadas através de fotografias durante um ano de observação. Os resultados demonstraram o comportamento dinâmico e particular de cada espécie no que diz respeito à capacidade de proporcionar sombra, dependendo da época do ano e de suas características formais. Por este motivo, a escolha adequada da espécie irá depender do contexto climático da edificação, pensada de forma a repercutir em um balanço energético mais natural e passivo, evitando o excesso de consumo de energia com climatização artificial, principalmente para resfriamento. Assim, além de evidenciar os aspectos positivos do uso das cortinas verdes em arquitetura, este estudo demonstra a viabilidade de aplicação da metodologia adotada, com valores médios e plausíveis de utilização em simulações computacionais de desempenho energético.

**Palavras-chave:** Cortinas verdes. Vegetação. Controle solar. Eficiência energética.

### Abstract

Green curtains are characterized by planting and development of climbing vegetation species, by the use of supports, positioned in front of vertical surfaces of a building and away from these. Its most important functional aspect is associated with the ability to provide shade, depending on the density of the foliage, which can reflect positively on the energy efficiency of the building. In this context, the purpose of this article is to verify the four climbing plants species capacity of shading, adapted to brazilian subtropical climate, noting the Percentage of Solar Transmission (PTS) of these foliage throughout the different seasons. The method is characterized as experimental, as it is based on the construction of a prototype field, where the climbing plants species were planted and evaluated by photographs, during a year of observing. The results demonstrated the dynamic and particular behavior of each species in relation to the ability of providing shade, depending on the season of the year and its formal characteristics. For this reason, the proper choice of the species will depend on the climate context of the building, in order to establish a more natural and passive energy balance, avoiding the excess of power consumption with artificial climate, mainly for cooling. Thus, show clearly the positive aspects of the use of green curtains in architecture, this study demonstrates the viability of applying the methodology, therefore the data represent mean values and plausible for use in computer simulations of energy performance of buildings.

**Keywords:** Green curtain. Vegetation. Solar control. Energy efficiency.

## Introdução

As cortinas verdes, objeto de estudo deste trabalho, caracterizam-se pelo plantio e desenvolvimento de espécies de vegetação trepadeira, com auxílio de suportes, posicionadas em frente e afastadas das superfícies verticais da edificação, sejam elas fachadas opacas ou transparentes. A denominação vem do termo em inglês *green curtain*, mais aceito mundialmente, sendo esta considerada uma tipologia específica de jardim vertical, que tem como particularidade sua posição estratégica “descolada” das fachadas. Assim, o aspecto funcional mais relevante da utilização das cortinas verdes está associado à sua capacidade de proporcionar sombra, atuando como dispositivo de controle solar em arquitetura.

O sombreamento proporcionado irá depender da densidade de sua folhagem, sendo que, quando adequadamente planejada, pode repercutir de forma positiva na eficiência energética da edificação. Diferente dos sistemas convencionais, o uso da vegetação como proteção solar ainda pode apresentar outros benefícios, na medida em que responde de forma dinâmica às variações do clima e das estações, pois é um elemento natural e de baixo impacto ambiental, além de representar uma nova possibilidade de revegetação para as cidades.

A maior parte do território brasileiro possui grande incidência de radiação solar e altas temperaturas o ano todo. Mesmo na região sul, onde a latitude é maior, o verão registra temperaturas elevadas. Sendo assim, deve-se evitar o excesso de insolação nos ambientes internos, o que provoca indesejável carga energética. A solução, na maioria das vezes, pode ser obtida com a adoção de dispositivos de proteção solar, sobretudo para as áreas transparentes de fachada, de forma a bloquear ou redirecionar a incidência dos raios solares.

Nesse contexto, a vegetação, mesmo sendo um elemento natural, possui uma estrutura de galhos e folhas capazes de minimizar a passagem da radiação. No entanto, uma das principais limitações no estudo das cortinas verdes, enquanto elemento de controle solar, é o seu dinamismo. Um dispositivo de proteção solar convencional será dimensionado com unidades de tamanho fixo, que não se alteram com o tempo, sendo que a maior possibilidade de variação estará relacionada ao movimento de abrir ou fechar suas aletas ou orifícios. A vegetação, no entanto, é um elemento vivo que sofre alterações ao longo do seu crescimento, das variações sazonais e por causas adversas, seja interferência humana, variações climáticas ou problemas de adaptabilidade. Além disso, cada espécie de vegetal possui características diferenciadas que irão influenciar na sua capacidade de sombreamento como, por exemplo, o maior ou menor grau de fechamento da folhagem, sua velocidade de crescimento, seu porte, folhas perenes ou decíduas. Estes aspectos também sofrem variações, dependendo das condições de plantio, adubação e irrigação, podendo ser intensificados ou apassivados.

Este dinamismo gera dificuldade de previsão da condição da vegetação ao longo do tempo e, por conseguinte, de quantificação de sua capacidade de sombreamento, de forma a ser possível avaliar sua influência no desempenho energético das edificações em procedimentos de cálculo ou simulação computacional. Mesmo com esta dificuldade evidente, considera-se, pela contemporaneidade do tema e pelo interesse cada dia mais evidente no uso das cortinas verdes em projetos de arquitetura, como se pode observar em obras executadas na América do Sul, Europa e Ásia [Figura 1], que pesquisas científicas, alicerçadas em bases metodológicas consistentes, são de grande valia e necessárias para o aprimoramento e difusão desta técnica.

FIGURA 1 - Edificações com cortinas verdes. a) no Chile; b) na Alemanha; c) no Japão

Fontes: ENRIQUE BROWNE Y ASOCIADOS, 2013; BRT ARCHITEKTEN, 2013; EDWARD SUZUKI, 2013



Diante do exposto, o objetivo deste artigo consiste em verificar a capacidade de sombreamento de quatro espécies trepadeiras, duas perenes e duas decíduas, adaptadas ao clima subtropical do Brasil, observando o Percentual de Transmissão Solar (PTS) de sua folhagem, ao longo de um ano de avaliação, perpassando as diferentes estações climáticas. A principal intenção do estudo é a de testar o método e gerar alguns parâmetros médios, plausíveis de utilização em simulações computacionais de eficiência energética, antevendo a performance da aplicação das cortinas verdes em arquitetura.

## As cortinas verdes e o desempenho energético das edificações

Observou-se, nos últimos anos, um aumento significativo de pesquisas com enfoque no desempenho das cortinas verdes enquanto elemento de controle solar. Um dos estudos relevantes foi desenvolvido através de um experimento em laboratório por Stec, Passen e Maziarz (2005). O objetivo consistiu em avaliar o rendimento térmico e as habilidades de um sistema com vegetação trepadeira localizado na cavidade de fachadas duplas envidraçadas, comparando seu desempenho com um sistema de veneziana tradicional. Os resultados demonstraram que o sombreamento com plantas se mostra mais eficaz do que com venezianas, com redução da temperatura superficial e na camada interna.

Outro estudo importante, este realizado *in loco*, foi a avaliação do comportamento energético do edifício Consorcio Santiago, no Chile, projetado pelo arquiteto Enrique Browne e que possui cortinas verdes como estratégia de sombreamento para fachada oeste. O edifício foi analisado por Reyes (2002 apud BROWNE, 2007), comparando dois pavimentos do prédio: um sem a vegetação como elemento de sombreamento e outro com a cortina verde. O resultado apontou que o pavimento protegido consome 35% menos de energia, com uma redução de 25% nos custos. Isto demonstra, mesmo que ainda empiricamente, os benefícios térmicos e energéticos da adoção desta solução.

Por sua vez, Pérez (2010) realizou uma investigação sobre o comportamento de cortinas verdes no clima mediterrâneo continental seco da Espanha. O experimento foi elaborado com o objetivo de comparar o crescimento de quatro diferentes espécies de vegetação trepadeira e sua capacidade de fornecer sombra. Os resultados demonstraram que a desempenho de bloqueio da radiação solar das plantas pode ser comparado aos melhores índices alcançados por barreiras artificiais, o que favorece a sua apli-

cação como elemento de proteção solar em fachadas. A capacidade de sombreamento mais favorável foi o da *Parthenocissus quinquefolia*, no período de verão, em que suas folhas estão em pleno desenvolvimento, em que atingiu uma média de transmissão de luz de 0,15.

Outro experimento, realizado na Universidade de Brighton (Reino Unido) por Ip, Lam e Miller (2010), teve como objetivo principal a elaboração de uma metodologia para a determinação de um coeficiente de sombreamento dinâmico, chamado “*Bioshading*”, que refletisse um ciclo anual de crescimento da planta. Para tanto, foram instaladas duas cortinas verdes em salas de escritório com a espécie *Parthenocissus quinquefolia*, sendo os dados de radiação solar coletados regularmente, em frente e atrás da vegetação. A transmitância solar chegou a 0,47 no verão, reduzindo gradativamente até 0,95 no período sem folhas.

Já na Tailândia, país que vem adotando políticas de incentivo ao uso da vegetação em jardins verticais e, especialmente, na forma das cortinas verdes para sombreamento, os pesquisadores Sunakorn e Yimprayoon (2011) estudaram o uso de plantas trepadeiras como dispositivos de sombra verticais, aplicando a espécie *Thunbergia grandiflora* na fachada oeste de uma sala de aula ventilada naturalmente. O objetivo principal do experimento consistia em comparar a temperatura interna desta sala com outra nas mesmas condições, localizada ao lado, porém sem a cortina verde. Os resultados demonstraram que a temperatura interna ficou menor no ambiente com a vegetação, sobretudo durante o dia, devido ao sombreamento causado pela planta e também pelo processo de evapotranspiração do vegetal.

Mais recentemente, Koyama et al. (2013) realizaram um experimento com cinco diferentes espécies de trepadeiras, com o intuito de verificar quais as principais características que contribuem para o efeito de resfriamento das cortinas verdes. As espécies foram conduzidas em frente a painéis que representavam a parede de uma edificação, sendo que no último painel não havia vegetação, para fins de comparação dos resultados. Uma série de parâmetros foram medidos e analisados durante o experimento, como a temperatura na superfície do painel e na superfície das folhas, a área de cobertura foliar e transmissão solar pela folha. O método para obtenção da porcentagem de área foliar merece destaque, pois assemelha-se ao utilizado nesta pesquisa, através do tratamento de imagens, com separação entre a vegetação e o fundo. Os resultados identificaram a área de cobertura foliar como característica fundamental para determinar a influência na diminuição de temperatura no painel. Isto se deve, principalmente, à capacidade da folhagem de proporcionar sombra. Além disso, outro fator identificado que pode contribuir para o resfriamento são os diferentes percentuais de transmissão solar pelas folhas, que dependem das características genotípicas de cada espécie.

No Brasil, as pesquisas sobre sistemas verdes em fachadas são ainda mais recentes e escassas. Um dos poucos estudos foi desenvolvido por Morelli (2009), com o objetivo de avaliar, através de um experimento em células-teste, o desempenho térmico da espécie *Parthenocissus Tricuspidata*. Comprovou-se uma diminuição da temperatura interna de, em média, 0,9°C na célula-teste com trepadeira aderente e de até 2,6°C na célula-teste com trepadeira sobre treliça afastada da parede.

Todos estes estudos evidenciam que os aspectos positivos, ou seja, os benefícios do uso da vegetação superam os possíveis pontos negativos, embora estes possam ser decisivos no momento do planejamento da edificação. Certamente ainda existe uma grande hesitação na área da arquitetura e construção civil em implementar sistemas verticais com vegetação. Isto se deve, entre outros aspectos, aos custos iniciais envol-

vidos, necessidade de conhecimento técnico adequado, de manutenção extra, possibilidade de gerar patologias ou atrair fauna indesejada. Em uma análise financeira, desta forma, deve-se considerar, no cálculo do custo/benefício, outros aspectos que, direta ou indiretamente, afetam o ciclo de vida em longo prazo da edificação: menores custos de energia para climatização, aumento do valor estético e ecológico, possibilidade de valorização do imóvel ou de melhor condição de vida para os ocupantes.

## Materiais e método

O método utilizado para esta pesquisa caracteriza-se como experimental e exploratório, uma vez que tem como base a construção de um protótipo de campo, no qual diferentes espécies de vegetação trepadeira foram plantadas e avaliadas através de fotografias, para se obter o Percentual de Transmissão Solar (PTS) em cada estação do ano. As etapas de execução do protótipo experimental e de coleta e tratamento dos dados serão detalhadas a seguir.

### Execução do protótipo experimental

O experimento consiste na construção de um protótipo simplificado, que simula a situação de aplicação das cortinas verdes em pequena escala. O modelo está sendo considerado simplificado por não agregar o elemento edificação ao arranjo, ou seja, considerar somente a cortina verde, de forma isolada, sem vínculo com uma área construída específica. O protótipo foi executado na região central do Estado do Rio Grande do Sul, local que possui clima subtropical, em que as estações do ano são bem definidas.

Foi construída uma estrutura com tela metálica, com 6,0 metros de comprimento por 1,5 metros de altura, posicionada com as faces da tela voltadas para as orientações Leste e Oeste. O espaço total foi subdividido em regiões, destinadas ao desenvolvimento das diferentes espécies de trepadeiras. Desde a época do plantio das primeiras mudas, em setembro de 2011, as espécies foram monitoradas em seu crescimento e adaptação, sendo que, em dados momentos, algumas, escolhidas inicialmente, foram substituídas por outras que apresentaram melhor resposta às condições climáticas e necessidades do experimento. O acompanhamento deste período de consolidação incluiu visitas regulares para irrigação, adubação, fixação dos novos galhos e registro fotográfico.

As avaliações definitivas, com registro fotográfico e tratamento das imagens, ocorreram no período de um ano, entre o final de 2012 e o início de 2014, com as espécies já consolidadas em termos de crescimento e fechamento da folhagem. As quatro espécies avaliadas foram: *Wisteria floribunda* (Glicínia) e *Campsis grandiflora* (Trombeta-chinesa), que são decíduas; *Lonicera japonica* (Madressilva-creme) e *Trachelospermum jasminoides* (Jasmim-leite), essas com folhagem perene.

### Procedimento de coleta e tratamento dos dados

A seguir será descrito o procedimento de coleta e tratamento dos dados para determinação do PTS das espécies trepadeiras avaliadas, etapa esta que ocorreu no período de doze meses, uma vez por mês em cada espécie, a fim de mapear a variação completa de sua condição nas diferentes estações do ano.



O Percentual de Transmissão Solar (PTS) de cada vegetação foi calculado através do tratamento de imagens obtidas no local, delimitando-se 1,0 m<sup>2</sup> de área da planta, de forma a possibilitar que esta média seja estendida para uma fachada completa, de acordo com suas dimensões reais. As imagens fotográficas foram tomadas na frontal e ortogonalmente ao protótipo experimental, pelo lado de incidência do sol do período da tarde (Oeste), com câmera digital, modelo DSC-WX7, do fabricante Sony. Para facilitar o tratamento das imagens, com melhor identificação dos cheios e vazios por contraste, foi posicionado atrás da vegetação um painel de madeira pintado na cor branca [Figura 2-a]. A localização do painel foi definida como o mais próximo possível da vegetação, sem, no entanto, interferir na disposição dos galhos ou “amassar” suas folhas.

A partir das imagens fotográficas originais do local, foi utilizado o software Adobe Photoshop® para tratamento e compilação dos dados. Conforme o exemplo, inicialmente a imagem é recortada nas dimensões do painel [Figura 2-b] e, após, é delimitada a região de 1,0 m<sup>2</sup>, que será analisada em cada espécie [Figura 2-c].

FIGURA 2 - Exemplo da sequência de obtenção e tratamento das imagens



A partir de então, iniciou-se o processo de separação entre o que efetivamente é componente da vegetação e o que está vazio ou faz parte da estrutura metálica entre as folhas. Foi, desta forma, subtraído da imagem qualquer elemento ou região visível que não fizesse parte da planta, com auxílio das ferramentas do software Adobe Photoshop® “varinha mágica” e “borracha”, como pode ser observado a seguir, na Figura 3. O fundo de cor vermelho foi adotado para facilitar a visualização das regiões vazadas.

De posse das imagens tratadas, com a separação das regiões que compunham o objeto e o fundo, foi utilizada a ferramenta de contagem de pixels, de forma a calcular a área preenchida pela vegetação e a área vazada. Para a contagem dos pixels, inicialmente é necessário dimensionar a imagem, sendo que foi definida a ocorrência de 20 px/cm, ou seja, para a área delimitada de 1,0 m<sup>2</sup>, 2000 pixels na horizontal e 2000 pixels na vertical, totalizando 4,0 x 10<sup>6</sup> pixels. Após, foram selecionados todos os objetos existentes na imagem, no caso as regiões de folhagem, e realizada a contagem dos pixels, sendo que o resultado já é expresso em fração da área total. Por fim, realizou-se a seleção “inversa”, ou seja, dos vazios entre as folhas e calculou-se novamente a fração da área total, sendo esta, portanto, o Percentual de Transmissão Solar (PTS) obtido na imagem.

Este valor de PTS pode ser considerado, então, como correspondente à média de transmissão solar direta para cada metro quadrado da cortina verde que compõe uma



fachada, considerando uma situação aproximadamente homogênea de distribuição desta mesma espécie, nesta condição de crescimento (após dois anos e meio do plantio) e época do ano. No exemplo da Figura 3, a área vazada da *Wisteria floribunda* correspondeu a  $0,10 \text{ m}^2$ , sendo, portanto, o Percentual de Transmissão Solar igual a:  $\text{PTS} = 0,10 \text{ m}^2 / 1,0 \text{ m}^2 = 0,10$  ou  $10,0\%$ .

FIGURA 3 - Exemplo da subtração do fundo, na espécie *Wisteria floribunda*



## Resultados e discussões

Neste item, são apresentados os resultados após um ciclo anual de observação, coleta de dados e tratamento das imagens de cada vegetação, realizando a análise e discussão sobre o Percentual de Transmissão Solar (PTS) obtido em cada espécie, bem como sua variação ao longo das estações do ano. Primeiramente, os resultados obtidos para cada espécie serão avaliados individualmente e, então, será realizada uma análise comparativa.

### *Wisteria floribunda* (Glicínia)

O resultado das imagens tratadas e do cálculo do Percentual de Transmissão Solar (PTS) da primeira espécie avaliada encontra-se a seguir, ilustrado pela Figura 4. O período de avaliação das três primeiras espécies apresentadas ocorreu de junho de 2013 a maio de 2014.

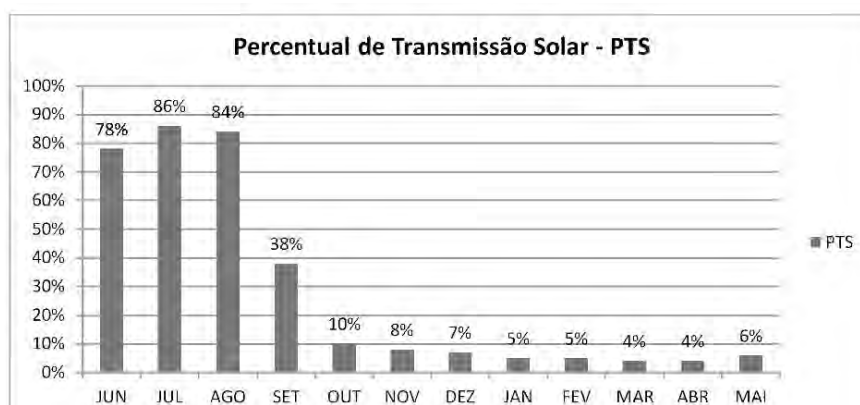
FIGURA 4 - Resultado das imagens tratadas durante um ano de observação, na espécie *Wisteria floribunda*

<b>JUNHO</b> PTS = 0,78 ou 78%	<b>JULHO</b> PTS = 0,86 ou 86%	<b>AGOSTO</b> PTS = 0,84 ou 84%	<b>SETEMBRO</b> PTS = 0,38 ou 38%
<b>OUTUBRO</b> PTS = 0,10 ou 10%	<b>NOVEMBRO</b> PTS = 0,08 ou 8%	<b>DEZEMBRO</b> PTS = 0,07 ou 7%	<b>JANEIRO</b> PTS = 0,05 ou 5%
<b>FEVEREIRO</b> PTS = 0,05 ou 5%	<b>MARÇO</b> PTS = 0,04 ou 4%	<b>ABRIL</b> PTS = 0,04 ou 4%	<b>MAIO</b> PTS = 0,06 ou 6%

Observando a sequência de imagens, percebe-se a significativa variação na densidade de folhagem desta espécie ao longo das estações do ano. A glicínia é decídua, perdendo suas folhas justamente no período do inverno – junho até agosto, e revelando sua expressiva floração entre o final do inverno e o início da primavera. A partir daí, retoma rapidamente a brotação de sua folhagem até atingir o maior índice de fechamento no verão.

O gráfico da Figura 5 expressa esses diferentes períodos através da variação do PTS. Nos meses de inverno, em que as folhas caem (junho, julho e agosto), os índices de transmissão solar são maiores, ficando entre 78% e 86%. Em setembro, início da primavera, o PTS é intermediário, devido à presença da floração (38%). Já entre outubro e maio, nos períodos mais quentes do ano, os percentuais de transmissão solar ficaram abaixo de 10%, chegando até um mínimo de 4%. Isto indica um alto grau de fechamento da folhagem, com poucos vazios que permitam a passagem direta da radiação solar.

FIGURA 5 - Gráfico do PTS da espécie *Wisteria floribunda*, calculado através das imagens, durante um ano de observação















Esta variação sazonal de bloqueio da radiação solar, demonstrada na espécie *Wisteria floribunda*, pode ser considerada um ponto positivo para sua utilização em cortinas verdes no caso do clima temperado ou subtropical, em que há a estação fria e a quente. Devido ao seu dinamismo, o uso desta espécie como proteção solar pode representar condição favorável para o desempenho energético da edificação, tanto no verão quanto no inverno, em regiões de altitude e para o sul do País, onde o clima é mais apropriado ao seu desenvolvimento.

Na situação de verão, um maior sombreamento da fachada, principalmente das regiões envidraçadas, será desejável, de maneira a reduzir a insolação direta e, por conseguinte, a carga térmica que chega ao edifício. Já no período de inverno, o acesso do calor às áreas internas é útil ao aquecimento do prédio, sobretudo em edificações de uso residencial, onde os ganhos internos de calor são menores. Nestas duas condições extremas, assim como nas situações intermediárias da primavera e do outono, o uso da vegetação decídua na cortina verde pode auxiliar na redução do consumo de energia para resfriamento ou aquecimento da edificação.

#### ***Campsis grandiflora* (Trombeta-chinesa)**

O resultado das imagens tratadas e do cálculo do Percentual de Transmissão Solar (PTS) da segunda espécie apresentada, no decorrer de um ano de observação, encontra-se a seguir, ilustrado pela Figura 6.

FIGURA 6 - Resultado das imagens tratadas durante um ano de observação, na espécie *Campsis grandiflora*

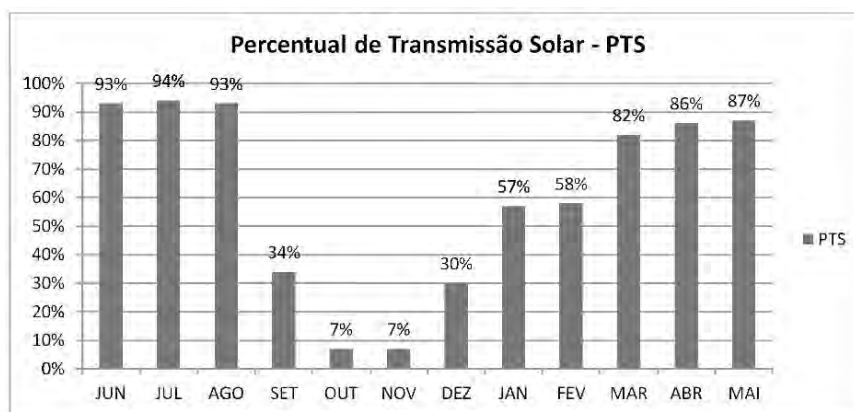
			
<b>JUNHO</b> PTS = 0,93 ou 93%	<b>JULHO</b> PTS = 0,94 ou 94%	<b>AGOSTO</b> PTS = 0,93 ou 93%	<b>SETEMBRO</b> PTS = 0,34 ou 34%
			
<b>OUTUBRO</b> PTS = 0,07 ou 7%	<b>NOVEMBRO</b> PTS = 0,07 ou 7%	<b>DEZEMBRO</b> PTS = 0,30 ou 30%	<b>JANEIRO</b> PTS = 0,57 ou 57%
			
<b>FEVEREIRO</b> PTS = 0,58 ou 58%	<b>MARÇO</b> PTS = 0,82 ou 82%	<b>ABRIL</b> PTS = 0,86 ou 86%	<b>MAIO</b> PTS = 0,87 ou 87%



De forma semelhante à primeira espécie analisada, o grau de fechamento da folhagem na Trombeta-chinesa é variável ao longo do ano. Esta espécie também é decídua, perdendo totalmente suas folhas e flores no período do outono e inverno. As imagens demonstram que a brotação é retomada no início da primavera, quando a folhagem se desenvolve de forma rápida e vigorosa. A floração aparece no período de verão, quando as folhas vão gradativamente diminuindo.

O gráfico da Figura 7 demonstra a variação do PTS ao longo das estações do ano. No período do outono e inverno (março até agosto), a trepadeira está sem folhas, o que permite maior transmissão da radiação solar, com valores de PTS altos, entre 82% e 94%. Na época da primavera, ocorrem os menores índices de PTS (7% em novembro e dezembro) e no verão a transmissão solar é intermediária, entre 30% e 58%.

FIGURA 7 - Gráfico do PTS da espécie *Campsis grandiflora*, calculado através das imagens, durante um ano de observação



Sua utilização em elementos de controle solar do tipo cortina verde também se revela mais adequada para climas com estação fria e quente. No entanto, para o caso do clima subtropical, os índices de sombreamento para o verão, por não serem muito elevados, podem representar ganhos de calor em demasia. A consequência será o aumento no consumo de energia com refrigeração artificial, em um período com temperaturas altas e forte radiação solar.


#### *Lonicera japonica* (Madressilva-creme)

O resultado das imagens tratadas e do cálculo do Percentual de Transmissão Solar (PTS) da terceira espécie apresentada, no decorrer de um ano de observação, encontra-se a seguir, ilustrado pela Figura 8.

Observando a sequência das imagens tratadas, primeiramente deve-se ressaltar que essa espécie não estava em seu pleno desenvolvimento no início do período de avaliação, em junho de 2013. Isto é claramente visível pelo gradativo fechamento de sua folhagem, lembrando que se trata de uma espécie perene, ou seja, que não perde suas folhas em nenhum momento do ciclo anual. A espécie é bem adaptada ao frio e, mesmo neste período, não há significativa mudança no comportamento da Madressilva-creme, sendo que as folhas existentes permanecem. A floração ocorre praticamente o ano todo, alternando períodos com e sem flores, que são pequenas e têm um agradável perfume.

Por este motivo, optou-se pela realização de uma correção nos valores de PTS medidos para os meses de junho a outubro, de modo que fosse possível uma avaliação mais condizente do desempenho desta espécie em uma situação real de aplicação. Foi adotado, para este período, o valor de PTS resultante da média dos outros meses, quando a vegetação encontrava-se com seu desenvolvimento máximo. Assim, tomando-se os valores de PTS dos meses de novembro até maio, a média resultou em 0,03 ou 3% de vazados.

**FIGURA 8 - Resultado das imagens tratadas durante um ano de observação, na espécie *Lonicera japonica***

			
<b>JUNHO</b> PTS = 0,41 ou 41%	<b>JULHO</b> PTS = 0,41 ou 41%	<b>AGOSTO</b> PTS = 0,16 ou 16%	<b>SETEMBRO</b> PTS = 0,09 ou 9%
			
<b>OUTUBRO</b> PTS = 0,07 ou 7%	<b>NOVEMBRO</b> PTS = 0,04 ou 4%	<b>DEZEMBRO</b> PTS = 0,03 ou 3%	<b>JANEIRO</b> PTS = 0,03 ou 3%
			
<b>FEVEREIRO</b> PTS = 0,02 ou 2%	<b>MARÇO</b> PTS = 0,02 ou 2%	<b>ABRIL</b> PTS = 0,01 ou 1%	<b>MAIO</b> PTS = 0,01 ou 1%

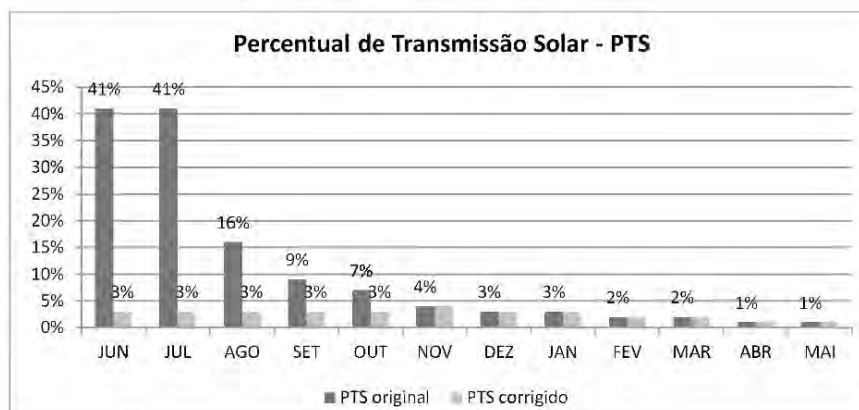
No gráfico da Figura 9, a seguir, são apresentados os resultados originais do PTS e os resultados corrigidos, que serão utilizados posteriormente nas simulações de desempenho energético para esta espécie.

Os dados da *Lonicera japonica* evidenciam sua grande vigorosidade e boa adaptação às condições climáticas do local, tolerando temperaturas baixas e geadas. Trata-se de uma espécie perene e com grau de fechamento da folhagem elevado, o que garante um sombreamento quase total, com poucos vazios entre as folhas que permitam a passagem da radiação solar. Por este motivo, os valores de PTS encontrados ou estimados foram baixos, entre 1% a 4%.

O desempenho energético para aplicação desta espécie em cortinas verdes, do ponto de vista térmico, será melhor em climas com predomínio de altas temperaturas o ano todo, onde o sombreamento das áreas envidraçadas é desejável e necessário. Para o clima temperado e subtropical, continuará tendo um desempenho positivo para as épocas mais quentes (primavera e verão), evitando o excesso de aquecimento da edificação. Por outro lado, durante as estações mais frias, este alto grau de fechamento da

folhagem provavelmente será negativo para o consumo de energia, obstruindo praticamente todo o acesso do sol e repercutindo na necessidade de climatização artificial para aquecimento.

**FIGURA 9 - Gráfico do PTS da espécie *Lonicera japonica*, calculado através das imagens, durante um ano de observação**



#### ***Trachelospermum jasminoides* (Jasmim-leite)**

O resultado das imagens tratadas e do cálculo do Percentual de Transmissão Solar (PTS) da quarta e última espécie avaliada, no decorrer de um ano de observação, encontra-se a seguir, ilustrado pela Figura 10. Esta espécie foi avaliada em um período anterior às demais, iniciando o ciclo em dezembro de 2012 e terminando em novembro de 2013, motivo pelo qual a ordem das imagens está diferente.

Pode-se observar, analisando as imagens com tratamento dos cheios e vazios, que esta espécie apresenta uma condição de fechamento da folhagem intermediária durante todas as estações do ano. O PTS possui pouca variação, oscilando em torno dos 50% (mínimo de 42% e máximo de 51%) nos diferentes meses, independente da estação fria ou quente. Portanto, trata-se de uma espécie perene, típica de clima tropical, sendo tolerante a temperaturas mais amenas, mas que possui uma velocidade de crescimento e uma vigorosidade menor que as outras espécies analisadas. A floração é perfumada e ocorre nos meses de primavera e verão.

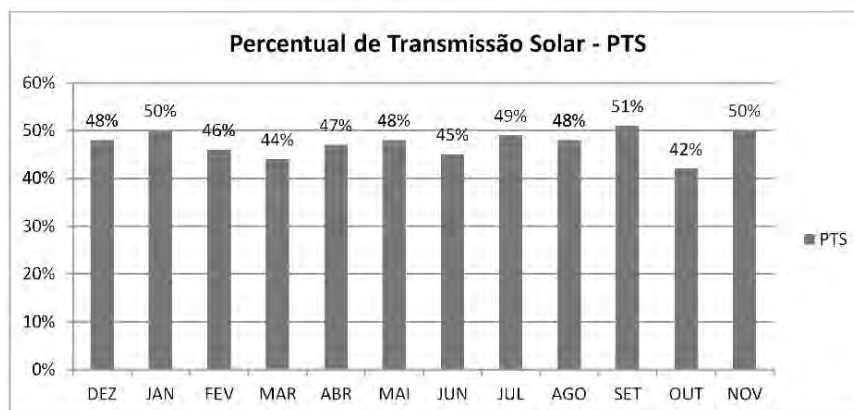


FIGURA 10 - Resultado das imagens tratadas durante um ano de observação, na espécie *Trachelospermum jasminoides*

<b>DEZEMBRO</b> PTS = 0,48 ou 48%	<b>JANEIRO</b> PTS = 0,50 ou 50%	<b>FEVEREIRO</b> PTS = 0,46 ou 46%	<b>MARÇO</b> PTS = 0,44 ou 44%
<b>ABRIL</b> PTS = 0,47 ou 47%	<b>MAIO</b> PTS = 0,48 ou 48%	<b>JUNHO</b> PTS = 0,45 ou 45%	<b>JULHO</b> PTS = 0,49 ou 49%
<b>AGOSTO</b> PTS = 0,48 ou 48%	<b>SETEMBRO</b> PTS = 0,51 ou 51%	<b>OUTUBRO</b> PTS = 0,42 ou 42%	<b>NOVEMBRO</b> PTS = 0,50 ou 50%

O gráfico da Figura 11 demonstra a variação do PTS em cada mês ao longo do ano, confirmando a relativa homogeneidade quanto à transmissão solar desta espécie. Ainda em comparação com as demais trepadeiras analisadas neste estudo, pode-se considerar que o Jasmim-leite se encontra em uma situação média em relação à capacidade de sombreamento. Não é tão fechado como a Madressilva-creme e nem possui períodos de total exposição, como ocorre nas duas espécies decíduas (Glicínia e Trombeta-chinesa). Por este motivo, seu desempenho energético enquanto elemento de proteção solar pode ser favorável para uso em diferentes climas, adaptando-se de forma equilibrada, tanto para uma condição de calor o ano todo, como também para regiões onde há estação fria.

FIGURA 11 - Gráfico do PTS da espécie *Trachelospermum jasminoides*, calculado através das imagens, durante um ano de observação



### Análise comparativa entre as espécies

O gráfico da Figura 12 e a Tabela da Figura 13 apresentam os resultados do Percentual de Transmissão Solar – PTS das quatro espécies avaliadas nesta pesquisa, organizados de forma paralela e seguindo a sequência convencional dos meses do ano, ou seja, iniciando em janeiro até dezembro.

FIGURA 12 - Gráfico comparativo do PTS de cada uma das quatro espécies avaliadas, nos doze meses do ano

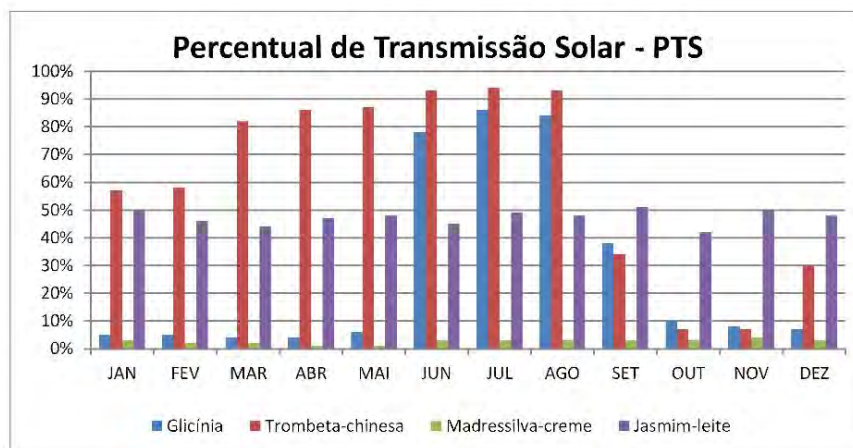


FIGURA 13 - Valores de PTS calculados, para cada espécie e em cada mês do ano

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
<b>Glicínia</b>	0,05	0,05	0,04	0,04	0,06	0,78	0,86	0,84	0,38	0,10	0,08	0,07
<b>Trombeta-chinesa</b>	0,57	0,58	0,82	0,86	0,87	0,93	0,94	0,93	0,34	0,07	0,07	0,30
<b>Madressilva-creme</b>	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03
<b>Jasmim-leite</b>	0,50	0,46	0,44	0,47	0,48	0,45	0,49	0,48	0,51	0,42	0,50	0,48

Analisando a variação do PTS das quatro espécies, pode-se verificar que cada uma possui particularidades distintas e relevantes em sua capacidade de sombreamento:

A espécie *Wisteria floribunda* (Glicínia) é decídua, apresentando o maior fechamento de sua folhagem entre os meses de outubro e maio, coincidindo com os períodos mais quentes do ano – primavera, verão e início do outono, no caso do clima temperado e subtropical. A média da transmissão solar nesta época é baixa, em torno de 6%. Já de junho a agosto, período mais frio do ano, perde praticamente todas as folhas, permitindo maior transmissão solar, amenizada pela ramificada galharia. Neste caso, a média do PTS. durante três meses, ficou em 83%. A situação intermediária (PTS de 38%) ocorre no início da primavera, com o período de floração, que é bastante expressiva e numerosa.

A outra espécie decídua avaliada foi a *Campsis grandiflora* (Trombeta-chinesa). Essa apresentou um período reduzido de fechamento da folhagem, somente nos meses de outubro e novembro, com PTS de 7%. O que chama a atenção foi a redução gradativa de suas folhas justamente na época mais quente do ano, entre os meses de dezembro a fevereiro, sendo que a média de transmissão solar ficou em 48%. A intensidade e antecipação deste fato pode ter sido atípica, uma vez que normalmente a espécie inicia o processo de perda das folhas mais tarde. Já nos meses mais frios do ano (entre março e agosto para a situação do sul do país), as folhas caem totalmente e a transmissão solar é alta, com média de PTS em torno de 89%. No início da primavera, as folhas voltam a brotar com crescimento rápido.

A terceira espécie analisada foi a *Lonicera japonica* (Madressilva-creme), que é perene e não apresenta variação significativa em sua capacidade de sombreamento ao longo do ano. Esta espécie é muito vigorosa e desenvolve-se em várias camadas, permitindo pouca possibilidade de transmissão solar, com média anual de apenas 2,6%. Desta forma, comporta-se como uma barreira quase opaca, com sombreamento praticamente total, independente da estação do ano.

Por fim, a espécie de trepadeira *Trachelospermum jasminoides* (Jasmim-leite) também é perene, porém seu crescimento é lento e o grau de fechamento das folhas é menor. Durante todo o ano, apresentou uma situação intermediária de capacidade de sombreamento, ficando seu PTS com média de 47%.

## Considerações finais

O objetivo deste artigo consistiu em apresentar e discutir um sistema de controle solar diferenciado para aplicação em projetos arquitetônicos, as cortinas verdes, com uso de vegetação trepadeira nas fachadas. O enfoque principal foi dado à quantificação experimental da capacidade de sombreamento de algumas espécies e como isto pode repercutir na eficiência energética da edificação.

A partir da realização do estudo experimental com as quatro espécies de vegetação, pode-se constatar as principais diferenças na capacidade de sombreamento de cada uma, nas diferentes estações do ano, bem como sua adequabilidade para utilização em cortinas verdes, do ponto de vista da eficiência energética para a edificação, em diferentes condições climáticas. No entanto, é necessário lembrar que as espécies avaliadas talvez não se desenvolvam em outros climas ou apresentem um comportamento diferente do visto na região de implantação do protótipo experimental. Por este motivo, os parâmetros aqui gerados são válidos para estas espécies e na condição do clima subtropical. No entanto, também são úteis como base para a escolha de outras espécies com características semelhantes, mas que sejam adaptadas em outras regiões, como no clima equatorial ou tropical.

Assim, a capacidade de sombreamento de cada espécie irá depender de sua estrutura, tamanho e grau de fechamento da folhagem, condição perene ou decídua, sendo que o Percentual de Transmissão Solar (PTS) pode ser aproximadamente constante ou ter variação acentuada nos diferentes meses do ano. De uma forma geral, as decíduas são mais indicadas para uso em cortinas verdes de edificações em climas temperados ou subtropicais, em que há estação fria e quente, porque o dinamismo de sua folhagem proporcionará sombra nos períodos quentes e maior acesso da radiação solar nas épocas frias. Isto irá repercutir em um balanço energético mais natural e passivo, evitando o excesso de consumo de energia com climatização artificial, tanto para resfriamento como para aquecimento. Já as espécies perenes, com maior ou menor grau de densidade da folhagem, serão favoráveis para evitar o aquecimento demasiado de edifícios em climas tropicais ou equatoriais, com temperaturas altas o ano todo. No entanto, seu uso não é descartado para climas compostos, especialmente em edifícios de escritórios que geram elevada carga térmica interna, desde que sejam tomadas medidas de controle nas épocas mais frias, como a realização de manutenção com poda.

Vale salientar a influência dos diferentes graus de fechamento da folhagem na incidência de luz natural nos espaços e, por consequência, na necessidade e consumo com iluminação artificial. Obviamente, uma vegetação mais densa também irá

bloquear grande parte da luminosidade natural, o que pode repercutir no balanço energético total, elevando gastos com o sistema de iluminação artificial. Este aspecto pode ser melhor avaliado com a realização de simulações computacionais, de forma a verificar a repercussão do uso das cortinas verdes no balanço energético final da edificação. Assim, pode-se tomar decisões para “manipular” o desenvolvimento das espécies, diminuindo a concentração da folhagem, se necessário, através do maior espaçamento de plantio ou podas regulares.

Desta forma, além de evidenciar os aspectos positivos do uso das cortinas verdes para o desempenho térmico de edificações, este estudo demonstrou a viabilidade de aplicação da metodologia adotada, com valores médios e plausíveis de utilização em simulações computacionais que avaliam sua eficiência energética.

Por fim, ressalta-se que, dentre as atuais e diversas tipologias de jardim vertical com aplicação em arquitetura, as cortinas verdes se destacam pelo aspecto funcional e não somente pelo resultado estético. Além disso, é um sistema mais econômico e sustentável, uma vez que sua execução e manutenção são mais fáceis e menos dispendiosas em termos energéticos, de consumo de água para irrigação e insumos para manutenção da vegetação. Essas vantagens são condizentes com as premissas de uma arquitetura mais sustentável, com baixo impacto ao meio ambiente, eficiente energeticamente e saudável aos usuários.

## Referências

- BROWNE, E. 2007. **El Edificio “Consortio-Santiago” 14 Años Después**. Disponível em: <<http://www.ebrowne.cl>>, acesso em: 10 mar. 2011.
- BRT ARCHITEKTEN. Disponível em <<http://www.brt.de>>, acesso em 08 ago. 2013.
- EDWARD SUZUKI. Disponível em <<http://edward.net/>>, acesso em 24 abr. 2013.
- ENRIQUE BROWNE Y ASOCIADOS. Disponível em <<http://www.ebrowne.cl>>, acesso em 20 fev. 2013.
- IP, K., LAM, M., MILLER, A. 2010. Shading performance of a vertical deciduous climbing plant canopy. **Building and Environment**, 45, 81-88.
- KOYAMA T., YOSHINAGA, M., HAYASHI, H., MAEDA, K. 2013. Identification of key plant traits contributing to the cooling effects of green façades using freestanding walls. **Building and Environment**, 66, 96-103.
- MORELLI, D. D. O. **Paredes verdes: vegetação como qualidade ambiental no espaço construído**. Campinas: UNICAMP, 2009. [Dissertação]. Universidade Estadual de Campinas, 2009.
- PÉREZ, G. **Façanes vegetades: estudi del seu potencial com a sistema passiu d'estalvi d'energia, en clima mediterrani continental**. Barcelona, Espanha: UPC, 2010. [Tese]. Universitat Politècnica de Catalunya, 2010.
- STEC, W. J., PASSEN, A. H. C., MAZIARZ, A. 2005. Modelling the Double skin façade with plants. **Energy and Buildings**, 37, 419-427.
- SUNAKORN, P.; YIMPRAYOON, C. 2011. Thermal performance of biofacade with natural ventilation in the tropical climate. **Procedia Engineering**, 21, 34-41.

### RESPONSABILIDADE INDIVIDUAL E DIREITOS AUTORAIS

A responsabilidade da correção normativa e gramatical do texto é de inteira responsabilidade do autor. As opiniões pessoais emitidas pelos autores dos artigos são de sua exclusiva responsabilidade, tendo cabido aos pareceristas julgar o mérito e a qualidade das temáticas abordadas. Todos os artigos possuem imagens cujos direitos de publicidade e veiculação estão sob responsabilidade de gerência do autor, salvaguardado o direito de veiculação de imagens públicas com mais de 70 anos de divulgação, isentas de reivindicação de direitos de acordo com art. 44 da Lei do Direito Autoral/1998: “O prazo de proteção aos direitos patrimoniais sobre obras audiovisuais e fotográficas será de setenta anos, a contar de 1º de janeiro do ano subsequente ao de sua divulgação”.

O CADERNOS PROARQ (issn 1679-7604) é um periódico científico sem fins lucrativos que tem o objetivo de contribuir com a construção do conhecimento nas áreas de Arquitetura e Urbanismo e afins, constituindo-se uma fonte de pesquisa acadêmica. Por não serem vendidos e permanecerem disponíveis de forma *online* a todos os pesquisadores interessados, os artigos devem ser sempre referenciados adequadamente, de modo a não infringir com a Lei de Direitos Autorais.